

Finde den NIF- Supersitzplatz

Nadine Eichbrett, Kai Broszio, Stephan Völker

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik

Einsteinufer 19, 10587 Berlin; nadine.s.eichbrett@campus.tu-berlin.de

Einführung

NIF-Effekte (eng. non-image-forming, NIF) werden von vielen Parametern beeinflusst. Zum einen von der vorherrschenden Lichtsituation, zum anderen vom Faktor Mensch. Die Lichtsituation wird durch die spektrale und räumliche Verteilung sowie eine mögliche Dynamik des Lichts, den Zeitpunkt der Beleuchtung, Richtung der Lichteinstrahlung sowie die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge bestimmt. Beim Menschen spielt z.B. das Alter, der individuelle Chronotyp, der Zeitpunkt der Lichtexposition im Hinblick auf zirkadiane Änderungen sowie die Lichthistorie eine Rolle (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV); CIE) .

Die für NIF-Effekte hauptverantwortlichen intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen (ipRGC) sind besonders für blaues Licht empfindlich. Das für sie festgelegte Aktionsspektrum wird als melanopisches Wirkungsspektrum ($s_{mel}(\lambda)$) bezeichnet. Forschungen ergaben, dass hohe Beleuchtungsstärken und hohe ähnlichste Farbtemperaturen einen positiven Effekt auf nicht visuelle Wirkungen haben. Zudem gibt es Hinweise darauf, dass die Sensitivität der ipRGCs von deren Lage auf der Netzhaut abhängt, wobei sie im unteren Teil der Netzhaut eine höhere Empfindlichkeit aufweisen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass auch Zapfen und Stäbchen einen Einfluss auf NIF-Effekte haben (DIN Deutsches Institut für Normung e. V; Lucas et al. 2014)

Dieser Beitrag zeigt anhand der lichttechnischen Charakterisierung eines Hörsaals der TU Berlin welchen Einfluss die Wahl des Sitzplatzes, unter zusätzlicher Berücksichtigung der Lichteinfallrichtung und möglicher empfindlicher Regionen der Netzhaut, auf den Stimulus für NIF-Effekte hat.

Ziel ist es, anhand der spektral und räumlich aufgelösten Messungen einen oder mehrere optimale Sitzplätze im Hörsaal zu ermitteln, an denen optimale Lichtbedingungen für NIF-Effekte herrschen. Zusätzlich soll untersucht werden, welchen Einfluss die zusätzliche Berücksichtigung der Lichteinfallrichtung und vermuteter, empfindlicher, retinaler Regionen des Beobachters auf die Position des optimalen Sitzplatzes hat. Besonderes Augenmerk wird dabei auch darauf gerichtet, welchen Einfluss die Projektionsfläche im vorderen Teil des Hörsaals auf die melanopisch gewichtete Bestrahlungsstärke hat.



Methodik

Der Hörsaal HE101 ist mit einer speziellen Beleuchtungsanlage ausgestattet. Die verbauten Langfeldleuchten, sind mit jeweils fünf verschiedenen Leuchtstofflampen (blau, grün, rot, kaltweiß, warmweiß; genaue Daten sind nicht verfügbar) bestückt. Diese Leuchtstofflampen können separat angesteuert werden und ermöglichen die Einstellung verschiedener Lichtszenen. Für fünf voreingestellte Lichtszenen wurden an 14 aussagekräftigen Plätzen räumlich und spektral aufgelöste Messungen vorgenommen. Aufgrund vorangegangener Messungen im Hörsaal wird von einer hohen Gleichmäßigkeit der einzelnen Lichtszenen ausgegangen und wegen des symmetrischen Aufbaus nur auf einer Seite des Hörsaals gemessen. Wobei die Reihe 8 im Messraster zur Überprüfung dieser Annahme dient.

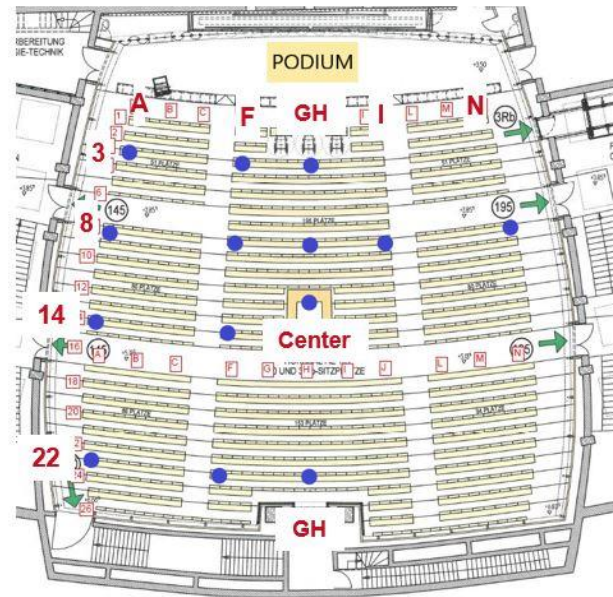


Abbildung 1: Sitzplan des HE101 mit Messpunkten



Abbildung 2: Messaufbau. Leuchtdichtekamera LMK 5 color (links), Radiospektrometer und Beleuchtungsstärkemessgerät für E_v (rechts), sowie für E_h auf

Die Messgeräte wurden mit Hilfe von Stativen parallel zueinander an einem Messpunkt aufgestellt und in Blickrichtung ausgerichtet (Abb. 2). Die vertikale Beleuchtungsstärke sowie das vertikale Spektrum am Auge, wurden mittels einer Halterung auf gleicher Höhe von 1,20m gemessen (Jeti Specbos 1211UV & Czibula & Grundmann MobiLux). Zusätzlich wurden auf derselben Höhe Leuchtdichte- bzw. Strahldichteaufnahmen aufgenommen. Die Besonderheit dieser Aufnahmen ist, dass die dafür verwendete Leuchtdichtekamera (TechnoTeam LMK 5 color) verschiedene Filter ($V(\lambda)$, $V'(\lambda)$, $s_{mel}(\lambda)$) besitzt, sodass die räumlich aufgelösten rezeptorbezogenen Bestrahlungsstärken für alle Rezeptortypen erfasst wurden. Die horizontale Beleuchtungsstärke auf der Nutzfläche wurde auf dem Tisch des dazugehörigen Sitzplatzes gemessen. Somit wurden die Raumparameter in größerem Detail beschrieben, als dies in vielen bisherigen Studien zu NIF-Wirkungen üblich war.

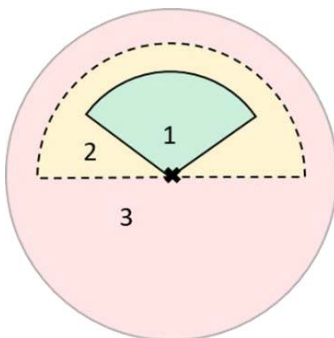


Abbildung 3: Einteilung wahrscheinlicher relevanter Regionen im oberen Halbraum für NIF-Effekte

Die räumliche Auswertung beruht darauf, dass sich, unter Berücksichtigung der retinalen Sensitivitätsunterschiede, anatomischer Einschränkungen und Abhängigkeit der Position der Lichtquelle, wahrscheinlich relevante Regionen im betrachteten Halbraum für NIF-Effekte finden lassen (Abb. 3).

Licht, welches aus Region 1 kommt, fällt auf die untere Netzhauthälfte in beiden Augen. Licht aus dieser Region wird eine sehr gute Wirksamkeit zugeschrieben. Licht aus Region 2 fällt jeweils nur auf die untere Netzhauthälfte in einem Auge. Dabei fällt es entweder auf die Nasenseite oder aus dem Höhenwinkelbereich über 45° - 60° in beide Augen. Licht aus dieser Region wird eine gute Wirksamkeit zugeschrieben. Licht, welches

aus Region 3 kommt, wird keine gewünschte Wirksamkeit für NIF-Effekte zugeschrieben. (Broszio et al. 2018; Knoop et al. 2019)

Auswertung und Ergebnisse

Anhand der Szene „Beamer“ erfolgt die Beschreibung und Auswertung der Ergebnisse. Für die Auswertung der räumlich aufgelösten Messungen wurden die Leuchtdichteaufnahmen, welche mit dem $V(\lambda)$ und dem $s_{mel}(\lambda)$ Filter aufgenommen wurden, mit der LMK LabSoft (Techno Team Bildverarbeitung GmbH) und einem MATLAB Programm (programmiert von Frederic Rudawski) verarbeitet (Abb.4).

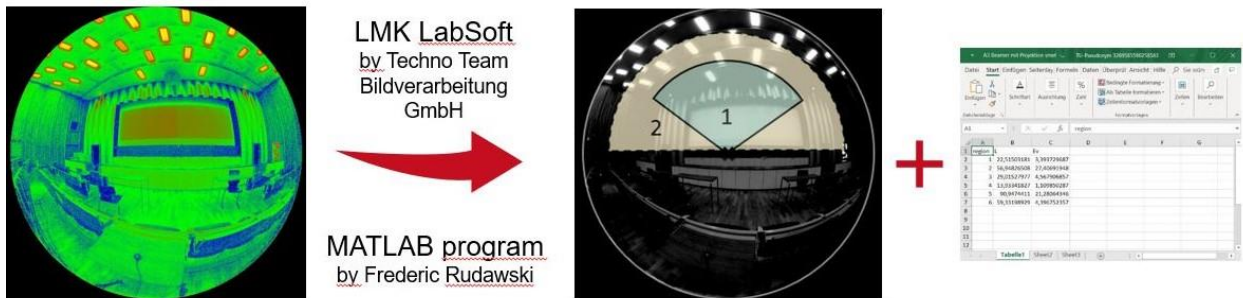


Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Auswertung der Leuchtdichteaufnahmen

Es wurde für jede Aufnahme eine Bilddatei und eine Excel Tabelle mit dem Leuchtdichte- und dem Bestrahlungsstärkebeitrag jeder Region ausgegeben. Bei der verwendeten Leuchtdichtekamera handelt es sich um eine Spezialanfertigung ohne Anpassung der Software LabSoft des Herstellers TechnoTeam an den $s_{mel}(\lambda)$ Filter und die damit gemessenen Werte. Die Messwerte geben somit nicht die melanopisch gewichtete Bestrahlungsstärke in W/m^2 wieder, aber verhalten sich proportional zu dieser. Diese Werte wurden über einen schematischen Sitzplan aufgetragen und verglichen (Abb. 5).

PLATZ	A	F	GH / Center	I	N
3	117,4 65%	117,6 65%	121,0 67%		
8	139,5 77%	156,0 86%	165,0 91%	164,5 91%	167,8 93%
Center			181,3 100%		
14	124,8 69%	154,4 85%			
22	139,8 77%	126,0 69%	107,6 59%		

PLATZ	A	F	GH / Center	I	N
3	62,2 53%	56,7 48%	56,0 46%		
8	75,5 54%	87,3 56%	90,9 55%	88,13 54%	105,7 63%
Center			104,8 58%		
14	95,2 76%	99,6 65%			
22	87 62%	71,4 57%	58,8 55%		

$E_{e,v,mel}$ min. max.

Abbildung 5: Links: $E_{e,v,mel}$ über alle Regionen. Rechts: $E_{e,v,mel}$ aus den vermuteten empfindlichen Regionen 1+2 und die prozentualen Anteile bezogen auf den Absolutwert aus allen Regionen des jeweiligen Sitzplatzes

Links in Abbildung 5 ist die vertikale melanopische Bestrahlungsstärke aus allen drei Regionen (Abb. 3) über einen schematischen Sitzplan aufgetragen. Im Zentrum befindet sich der höchste Wert für die $E_{e,v,mel}$. Im Verlauf von Reihe drei zur mittleren Reihe ist eine stetige Zunahme zu erkennen. Von der mittleren Reihe zur hinteren Reihe nimmt die $E_{e,v,mel}$ wieder stark ab.

Im Vergleich dazu sieht man rechts den Anteil der $E_{e,v, \text{mel}}$ aus den Regionen eins und zwei bezogen auf den jeweiligen Sitzplatz. Es ist ersichtlich, dass an jedem Platz ca. 50% der $E_{e,v, \text{mel}}$ aus dem für NIF-Effekte vermutlich relevanten Regionen kommen. An Platz A14 kommen sogar 76% aus den Regionen eins und zwei. Maximale absolute Werte der melanopisch gewichteten Bestrahlungsstärke finden sich an dem Platz (Center – GH/Center) in der Mitte und dem Platz N8 ganz rechts.

Für die Auswertung der spektral aufgelösten Messungen wurden die aufgenommenen Spektren in die CIE Irradiance Toolbox (http://files.cie.co.at/784_TN003_Toolbox.xls) eingegeben und die melanopisch gewichtete Bestrahlungsstärke für jeden Sitzplatz berechnet (Abb. 6).

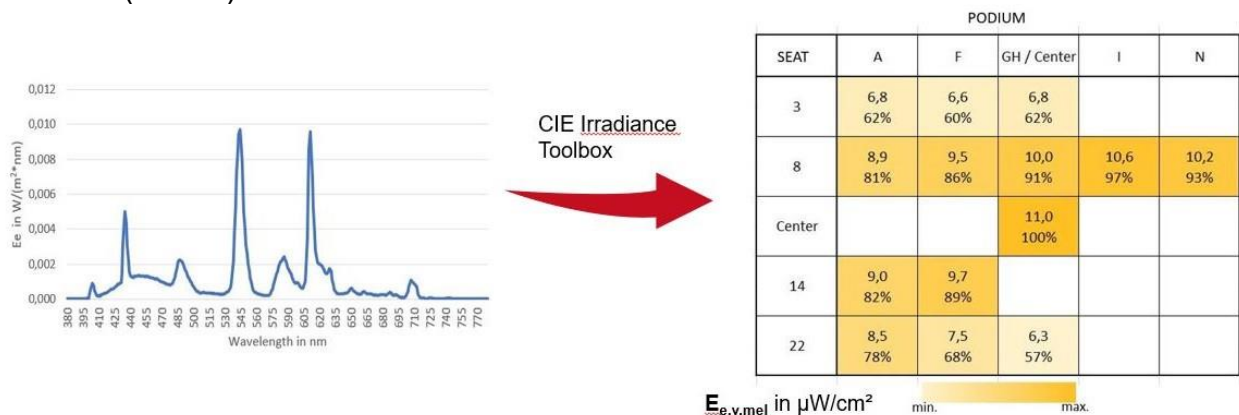


Abbildung 6: Schematische Auswertung der spektral aufgelösten Messung. Eingabe eines Spektrums in die CIE Irradiance Toolbox, Ausgabe der melanopisch gewichteten Bestrahlungsstärken in $\mu\text{W}/\text{m}^2$ an jedem Messpunkt.

Der Vergleich erfolgt zwischen den Werten bei eingeschalteter und ausgeschalteter Projektionsfläche (Abb. 7).

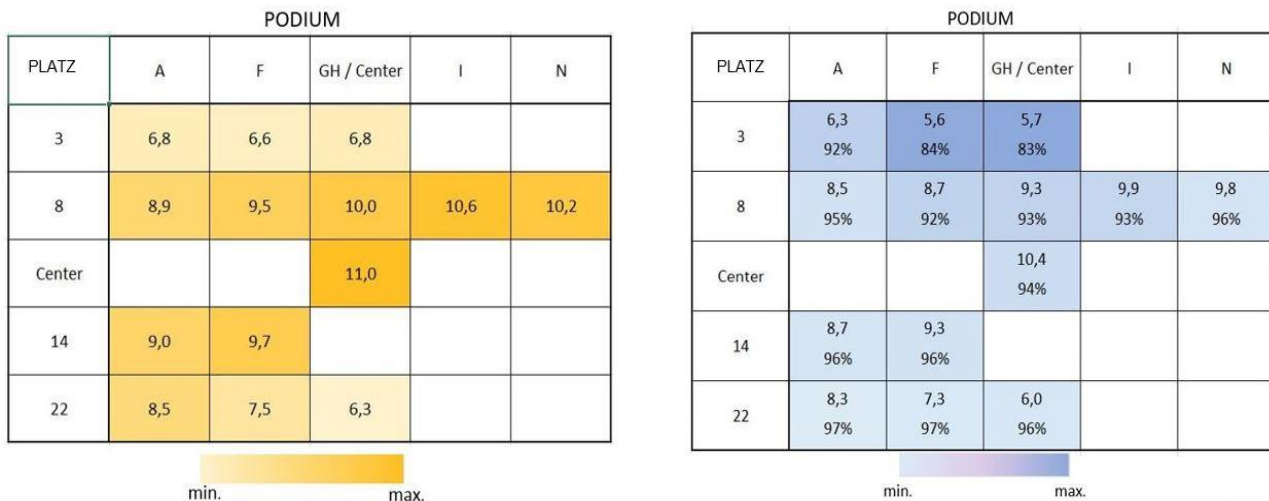


Abbildung 7: Schematischer Sitzplan. Vergleich der melanopisch gewichteten Bestrahlungsstärke in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ bei eingeschalteter Projektionsfläche (links) und ausgeschalteter Projektionsfläche bezogen auf den jeweiligen Sitzplatz (rechts).

In Abbildung 7 ist die melanopisch gewichtete Bestrahlungsstärke in $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ sowohl bei eingeschalteter als auch bei ausgeschalteter Projektionsfläche über einen schematischen Sitzplan aufgetragen.

Links sind die Absolutwerte der melanopisch gewichteten Bestrahlungsstärke bei eingeschalteter Projektionsfläche aufgetragen. Die Werte in den Reihen drei, acht und 14

fallen höher aus, als in der dritten und letzten Reihe. Auch im Verlauf vom Rand (Reihe A) zur Mitte (Reihe GH / Center) hin ist eine Zunahme der melanopisch gewichteten Bestrahlungsstärke zu sehen.

Rechts ist die auf den jeweiligen Sitzplatz bezogene melanopisch gewichtete Bestrahlungsstärke bei ausgeschalteter Projektionsfläche aufgetragen. Die Prozentzahl gibt an, wieviel der ursprünglichen melanopisch gewichteten Bestrahlungsstärke im Vergleich zur eingeschalteten Projektionsfläche am jeweiligen Platz ankommt.

In den vorderen Reihen nimmt die melanopisch gewichtete Bestrahlungsstärke bis zu 17% ab. In der hinteren Reihe nimmt der Einfluss der Projektionsfläche ab, beträgt aber immer noch bis zu 4%.

Im Randbereich ist auch ein Einfluss der Projektionsfläche zu erkennen, wobei dieser im Vergleich zum Verlauf vom vorderen zum mittleren Bereich, geringer ausfällt.

Die erwartete Symmetrie konnte weder bei den räumlich als auch bei den spektral aufgelösten Messungen nachgewiesen werden, was auf falsch verbaute Leuchtstofflampen und zusätzlich eingeschaltete Strahler in der Decke zurückzuführen sein könnte.

Fazit und Diskussion

Der Anteil der vertikalen melanopischen Bestrahlungsstärke aus den für NIF-Effekte möglichen relevanten Regionen ist im mittleren Bereich des Hörsaals am höchsten. Besonders auffällig ist Platz A14 mit 76% Bestrahlungsstärkeanteil aus Region eins und zwei. Möglicherweise beeinflussen zusätzlich in diesem Bereich verbaute Strahler die Messung, so dass sich dieser Platz als besonders günstig erweist.

Der Vergleich der melanopisch gewichteten Bestrahlungsstärke bei ein- und ausgeschalteter Projektionsfläche zeigt, dass sich in beiden Lichtsituationen im mittleren Bereich des Hörsaals die besten Bedingungen für NIF-Effekte herrschen.

Der Einfluss der Projektionsfläche ist, wie erwartet, in den vorderen Reihen besonders hoch, lässt nach Hinten und in den Randbereichen stark nach, ist aber immer noch vorhanden. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die Holzvertäfelung im Randbereich des Hörsaals einen weiteren Einfluss ausübt.

Die erwartete Symmetrie konnte weder bei den räumlich als auch bei den spektral aufgelösten Messungen nachgewiesen werden, was eventuell durch falsch verbaute Leuchtstofflampen und zusätzlich eingeschaltete Strahler in der Decke verursacht wird. Hier bedarf es der Prüfung ob sich gegebenenfalls auf der nicht vermessenen Seite des Hörsaals weitere „ideale“ Sitzplätze befinden.

Alles in allem weisen die Messungen darauf hin, dass unter der Berücksichtigung der Lichteinfallrichtung und möglicher empfindlicher Regionen der Netzhaut, die Wahl des Sitzplatzes durchaus einen Einfluss auf den Stimulus für NIF-Effekte hat. Die unter den Lichtbedingungen „idealen“ Sitzplätze befinden sich im mittleren Bereich dieses Hörsaals, wobei besonders der Sitzplatz GH Center / Center hervorzuheben ist.

Literaturverzeichnis

Broszio, Kai; Knoop, Martine; Niedling, Mathias; Völker, Stephan (2018): Effective Radiant Flux for Non-image Forming Effects – is the Illuminance and the Melanopic Irradiance at the Eye Really the Right Measure? In: *Light & Engineering/Svetotekhnika* 26 (2), S. 68–74.

CIE: CIE 218:2016. Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications. Unter Mitarbeit von J. A. Veitch, F. Bisegna, S. Hubalek, M. Knoop, Y. Koga, H. Noguchi et al. CIE (218), zuletzt geprüft am 15.09.2016.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV): DGUV Information 215-220 „Nichtvisuelle Wirkungen von Licht auf Menschen“.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V: DIN SPEC 5031-100.

Knoop, Martine; Broszio, Kai; Diakite, Aicha; Liedtke, Carolin; Niedling, Mathias; Rothert, Inga et al. (2019): Methods to Describe and Measure Lighting Conditions in Experiments on Non-Image-Forming Aspects. In: *LEUKOS*, S. 1–17. DOI: 10.1080/15502724.2018.1518716.

Lucas, Robert J.; Peirson, Stuart N.; Berson, David M.; Brown, Timothy M.; Cooper, Howard M.; Czeisler, Charles A. et al. (2014): Measuring and using light in the melanopsin age. In: *Trends in neurosciences* 37 (1), S. 1–9. DOI: 10.1016/j.tins.2013.10.004.